

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10262387 A**

(43) Date of publication of application: **29.09.98**

(51) Int. Cl.

H02P 5/00
G01P 3/489

(21) Application number: **09066472**

(22) Date of filing: **19.03.97**

(71) Applicant: **TOYOTA CENTRAL RES & DEV
LAB INC**

(72) Inventor: **UMENO KOJI
ASANO KATSUHIRO**

**(54) DETECTION POSITION CORRECTION DEVICE
AND ROTATIONAL SPEED DETECTOR**

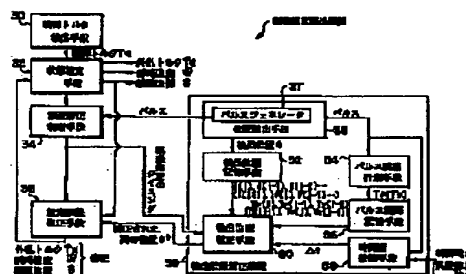
using the corrected position to detect the rotational speed far better than a type with no correction.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To estimate the rotational speed of a rotator properly even if a timing lag between a pulse generating point and a control point is not negligible.

SOLUTION: This detection position correction device 50 is constituted of a position detection means 38 which detects the rotating position of a rotator by the pulse outputted by a pulse generator 37, a pulse interval measuring device 54 which measures a pulse interval, a detected position storage means 52 which stores the time sequence of the detected rotating position, a pulse interval storage means 56 which stores the time sequence of the measured pulse interval, a time difference measuring means 58 which measures a time difference between a control point and the generated point of pulse generated just before it, and a detection position correction means 60 which corrects the detection position of a present point to the position of the control point based on the detection position, the time sequence of the pulse interval, and the time difference. It is thus possible for the rotational speed detection device which detects the rotational speed



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-262387

(43)公開日 平成10年(1998) 9月29日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 2 P 5/00

H 0 2 P 5/00

X

R

G 0 1 P 3/489

G 0 1 P 3/489

D

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願平9-66472

(22)出願日 平成9年(1997) 3月19日

(71)出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地
地の1

(72)発明者 梅野 孝治

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 浅野 勝宏

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地
地の1 株式会社豊田中央研究所内

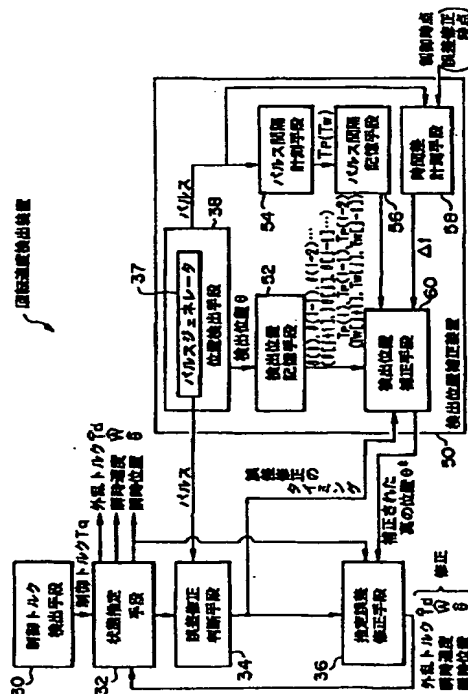
(74)代理人 弁理士 中島 淳 (外1名)

(54)【発明の名称】 検出位置補正装置及び回転速度検出装置

(57)【要約】

【課題】 パルス発生時点と制御時点との時刻のずれが無視できない場合でも回転体の回転速度を良好に推定する。

【解決手段】 パルスジェネレータ37が出力したパルスにより回転体の回転位置を検出する位置検出手段38と、パルス間隔を計測するパルス間隔計測手段54と、検出された回転位置の時間系列を記憶する検出位置記憶手段52と、計測されたパルス間隔の時間系列を記憶するパルス間隔記憶手段56と、制御時点とその直前に発生したパルスの発生時点との時間差を計測する時間差計測手段58と、検出位置及びパルス間隔の時間系列と時間差とに基づいて、現時点の検出位置を、制御時点の位置に補正する検出位置補正手段60と、から検出位置補正装置50を構成する。この補正位置を用いて回転速度を検出する回転速度検出装置では、補正無しと比べてはるかに良好に回転速度を検出できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転体に設置されたパルス生成器が出力したパルスの計数値に基づいて該回転体の回転位置を検出する位置検出手段と、

前記パルス生成器により出力されたパルスのパルス間隔を計測するパルス間隔計測手段と、

回転位置が検出された現時点と、該現時点後に指定された制御時点との時間差を計測する時間差計測手段と、

前記位置検出手段により1又は複数の検出時点で検出された回転位置の時間系列、前記パルス間隔計測手段により1又は複数の計測時点で計測されたパルス間隔の時間系列、及び前記時間差計測手段により計測された時間差に基づいて、現時点で検出された回転位置を、前記制御時点の回転位置に補正する検出位置補正手段と、を含む検出位置補正装置。

【請求項2】 回転体に設置されたパルス生成器が出力したパルスの計数値に基づいて該回転体の回転位置を検出する位置検出手段と、

回転体を制御するための制御トルクを検出する制御トルク検出手段と、

前記制御トルク検出手段により検出された値の制御トルク及び推定された値の外乱トルクが作用する回転体のモデルに基づいて、与えられた回転速度及び回転位置の各初期値とから回転体の回転速度及び回転位置を推定する状態推定手段と、

少なくとも前記パルス生成器により出力されたパルスの数に基づいて、誤差修正時点を判断する誤差修正判断手段と、

前記パルス生成器により出力されたパルスのパルス間隔を計測するパルス間隔計測手段と、

回転位置が検出された現時点と、該現時点後に前記誤差修正判断手段により判断された誤差修正時点との時間差を計測する時間差計測手段と、

前記位置検出手段により1又は複数の検出時点で検出された回転位置の時間系列、前記パルス間隔計測手段により1又は複数の計測時点で計測されたパルス間隔の時間系列、及び前記時間差計測手段により計測された時間差に基づいて、現時点で検出された回転位置を、前記誤差修正時点の回転位置に補正する検出位置補正手段と、

前記誤差修正時点において、前記位置補正手段により補正された回転位置と前記状態推定手段により推定された回転位置との間に生じた位置の誤差に基づいて、少なくとも前記外乱トルクの推定値及び回転速度の初期値を修正する推定誤差修正手段と、

を含む回転速度検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は検出位置補正装置及び回転速度検出装置に係り、特に、回転体の力学的モデルに基づいて構成されたオブザーバによって回転体の検

出位置等に基づき該回転体の瞬時速度や外部から作用する制動力等を推定する装置において上記検出位置の誤差を補正する検出位置補正装置、及び該検出位置補正装置を利用することによって、より高精度に回転速度を検出する回転速度検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、電動機や車両等の回転体の回転速度を検出する方法として、いわゆるパルスエンコーダ、パルスジェネレータといった位置検出器を用いて回転体の回転位置（回転角度）を検出し、検出された回転位置（以下、単に「位置」ともいう）の値に基づいて回転速度を検出する方法がある。一般的には、ある時間周期で位置検出器の値が読み込まれ、その読み込みタイミングにおける検出値と1タイミング前における検出値との差分によって、回転速度（以下、単に「速度」ともいう）が検出される。

【0003】しかし、上記方法の場合、本来、連続量である位置が、位置検出器の分解能に規定される離散値で検出されるため、検出速度の時間遅れや量子化ノイズといった問題が生じる。さらに、速度が低速になると、位置読み込み周期間で十分なパルス数が得られないため、上記問題はより深刻なものとなる。

【0004】そこで、上記問題を回避するため、回転体のモデルに基づいて、いわゆるオブザーバ（状態観測器）を構成し、該オブザーバによりパルスが来ない間の瞬時速度を推定する「瞬時速度オブザーバ」の手法が提案されている（今野、堀：「高次外乱補償機能を有する瞬時速度オブザーバ」、電気学会論文誌D、112, No6, 平成4年）。以下、本手法について説明する。なお、上記文献記載の本手法は、電動機制御における速度検出について述べられているので、以下の説明では回転体を電動機として説明する。

【0005】図9には、瞬時速度オブザーバ10の構成、電動機12及び位置検出器14が示されている。同図に示すように、入力された電流*i*により回転駆動した電動子の位置を求めるとき、電動機12は、電流*i*から電動子の駆動トルクへの変換係数を示すトルク係数*K*と、該駆動トルク及び電動子に外部から作用する外乱トルク*T_d*の加算要素と、電動子の慣性*J*及び積分要素1/*s*からなる変換要素（1/*Js*）と、積分要素1/*s*と、により表される。なお、*s*はラプラス変換の演算子に相当している。

【0006】この電動機12の作用を説明すると、まず電流*i*を入力すると、電流*i*のエネルギーは、電動子の駆動トルク（*Ki*）に変換される。この駆動トルクに対し、電動機外部から作用する外乱トルク*T_d*が加わると、実際に電動子に作用するトルクは全トルク*T*となる。次に、演算要素（1/*Js*）を慣性*J*の逆数（1/*J*）と積分要素（1/*s*）とに分解して考えると、全トルク*T*は、（1/*J*）により電動子の回転角速度に変

10

20

30

40

50

3

換され、さらに、この回転角速度は積分要素(1/s)により電動子の回転速度 ω に変換される。そして、回転速度 ω は、後段の積分要素(1/s)により連続量としての実際の回転位置に変換される。

【0007】電動子の実際の回転位置は、位置検出器14により離散値の回転位置 θ (パルス計数値)として位置読み取り周期 T_1 毎に検出される。

【0008】瞬時速度オブザーバ10は、上記した電動機12の等価モデル16を有しており、この等価モデル16は、トルク係数 K_n (トルク係数 K のノミナル値を意味する)の定数器20と、駆動トルクの演算値及び外乱トルクの推定値を加算する加算器22と、電動子に作用する全トルクの推定値に対して(1/ J_n s)を演算する演算器24(J_n は慣性 J のノミナル値)と、演算器24の演算結果に対して(1/s)を演算する積分器26と、から構成される。なお、図9の瞬時速度オブザーバ10では、回転速度 ω の推定値、回転位置 θ の推定値、外乱トルク T_d の推定値及び全トルク T_a の推定値を、各変数に \wedge を付与した変数で表している。

【0009】等価モデル16では、電流 i 及び外乱トルクの推定値の入力により、制御系の制御周期 T_2 毎に演算器24が電動子の速度の推定値を出力し、さらに積分器26が位置の推定値を出力する。すなわち、等価モデル16によれば、制御周期 T_2 毎に上記推定値を出力するので、位置検出器14の読み取り周期 T_1 の間の位置情報が得られない間でも位置及び速度の推定値を得ることができる。

$$T_1 = mT_2, \quad m \text{は整数}$$

という関係があるものとする。ここに、 m は、パルス発生時期に依存して変化する。また、読み取り周期 T_1 は、速度分解能が十分得られるように数[ms]～数十[ms]に設定されている。なお、本手法では、DSP(Digital Signal Processor)などの高速の演算デバ※

$$t = jT_1 + kT_2, \quad 0 \leq k < m$$

となる。但し、 j は読み取り周期 T_1 の各区間に順番に付与されたインデックス(番号)、 k は読み取り周期 T_1 の1区間で生じた m 個の制御周期 T_2 の各区間に順番に付与されたインデックスである。 j 、 k を指定すると、(2)式より時間 t が定まるので、以下では、時間 t における一般の変数 $f(t)$ を $f[j, k]$ と表すこと★40

$$\hat{T}_d[j, k+1] = \hat{T}_d[j, k]$$

【0017】と仮定する。(3)式は、間隔 T_2 において外乱が一定値をとることを意味している。この仮定は T_2 が十分短い場合には、有効な近似となる。

【0018】ここで、時点 $[j, k]$ で電動子に作用す☆

$$\hat{T}_m[j, k] = K_m i[j, k] + \hat{T}_d[j]$$

【0020】と演算される。但し、 $i[j, k]$ は、時点 $[j, k]$ での電流値である。そこで、演算器24が◆50

4

*【0010】さらに、瞬時速度オブザーバ10は、等価モデル16により演算された位置の推定値と位置検出器14により検出された位置 θ との偏差 $\Delta\theta$ を演算する偏差器28と、演算された $\Delta\theta$ に基づいて、読み取り周期 T_1 毎に、等価モデル16で用いられる外乱トルクの推定値及び該等価モデル16で推定される速度の推定値を修正するためのゲインを各々演算する修正ゲイン演算部18と、を備えている。

【0011】瞬時速度オブザーバ10では、修正ゲイン演算部18により演算されたゲインにより外乱トルクの推定値及び速度の推定値が、 $\Delta\theta$ が零に一致するように修正されるので、等価モデル16の各推定値は、現実の電動機12の各出力値と略一致するようになり、よって、回転速度及び外乱トルクの正確な推定が可能となる。

【0012】図9の瞬時速度オブザーバ10として、上記文献には、「位置読み込み形」及び「平均速度読み込み形」の2つの態様が示されている。以下では、「平均速度読み込み形」の態様を、本発明の従来技術として、さらに詳細に説明する。この平均速度読み込み形オブザーバでは、エンコーダのパルス間隔が制御周期 T_2 より長くなる場合を想定しており、エンコーダパルスが発生した直後の制御時点で推定値の修正を行う。

【0013】図10には、位置 θ に対応するパルス計数値、位置検出器14による位置の読み込みタイミング、及び制御周期が示されている。ここで、読み取り周期 T_1 と制御周期 T_2 の間には、

$$(1)$$

※イスの使用を前提としているので、制御周期 T_2 は数十[μs]程度となる。

【0014】位置検出器14の読み込み周期内では、時間 t は、

$$(2)$$

★にする。なお、 $f[j, m] = f[j+1, 0]$ となるので、(2)式では、 k の定義域に0を含ませている。

【0015】また、回転速度の推定のためには、制御周期 T_2 毎に外乱の推定値が必要となるが、簡単のため、

【0016】

【数1】

$$(3)$$

☆全トルク T_a 。[j, k]の推定値(\wedge 付)は、定数器20及び加算器22により、

【0019】

【数2】

$$(4)$$

◆(4)式の全トルクの推定値を台形積分することにより、次式のような速度の推定値を得る。

【0021】

* * 【数3】

$$\hat{\omega}[j, k] = \hat{\omega}[j, k-1] + \frac{T_2}{2} \left(\frac{\hat{T}_m[j, k] + \hat{T}_m[j, k-1]}{J_n} \right) \quad (5)$$

【0022】次に、積分器26が(5)式の数値推定値を台形積分することにより、次式のような位置の推定値を得る。

* 【0023】

【数4】

※

$$\hat{\theta}[j, k] = \hat{\theta}[j, k-1] + \frac{T_2}{2} (\hat{\omega}[j, k] + \hat{\omega}[j, k-1]) \quad (6)$$

【0024】なお、(5)、(6)式の台形積分は、上述したように制御周期 T_2 毎に行われる。

★にリセットされるものとする。

【0025】次に、(5)式による速度 $\omega[j, m]$ の推定値(ハ付)及び(6)式による位置 $\theta[j, m]$ の推定値(ハ付)には、推定誤差が含まれているので以下のように修正を行う。なお、エンコーダのパルス間隔を測定するための図10の高速カウンタはパルスの到着と同時に★

【0026】すなわち、パルス間隔が高速カウンタにより精度良く測定でき、また、1パルス当たりの回転角度も予めわかっているため、両者よりその間の平均速度 $\omega[j+1]$ が以下のように計算される。

【0027】

【数5】

$$\langle \omega[j+1] \rangle = \frac{1 \text{ パルス当たりの回転角}}{\text{パルス間隔}} \quad (7)$$

【0028】そして、パルスの到着直後の制御時点から次のパルスの到着直後の制御時点までの間隔 T_1 と、その

☆の間の平均速度 $\langle \omega[j+1] \rangle$ を用いて、時点 $[j+1, 0]$ における位置が、

$$\theta[j+1, 0] = \theta[j, 0] + \langle \omega[j+1] \rangle T_1 \quad (8)$$

で近似できる。この従来技術では、パルス発生時点と制御時点の時刻のずれは、大きくて T_2 程度なので無視できると仮定している。

◆ $= \theta[j+1, 0]$ がわかるので、偏差器28により位置の推定誤差として、

【0030】

【数6】

【0029】このように $[j, m]$ の時点において、位置検出器14の読み込みにより正確な位置 $\theta[j, m]$ ◆

$$\Delta\theta = \hat{\theta}[j, m] - \theta[j+1, 0] \quad (9)$$

【0031】が得られる。そこで、この推定誤差が生じる原因を、推定外乱ベクトルの初期値 $T_d[j, 0]$ (ハ付)及び速度推定値の初期値 $\omega[j, 0]$ (ハ付)の誤差によるものとする。△θを各初期値誤差に分けて

*て書くと次式のように表せる。

【0032】

【数7】

$$F x_{err} = \lambda \Delta\theta \quad (10)$$

ここに、

$$x_{err} = \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta T_d \end{bmatrix}, \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} T_1 & 0 \\ 0 & \frac{T_2^2}{2J_n} \end{bmatrix}$$

【0033】である。ここに、λは誤差△θを各初期値誤差に分配するための重み係数ベクトルである。(10)式に基づいて x_{err} を計算し、これを以下のように次の速

*度推定期間 $[j+1]$ における初期値の修正に用いる。

【0034】

【数8】

$$\begin{aligned}\hat{x}[j+1,0] &= \hat{x}[j,m] - Lx_{err} \\ &= \hat{x}[j,m] - LF^{-1}\lambda\Delta\theta\end{aligned}\quad (11)$$

ここに、

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{T}_d \end{bmatrix}, L = \begin{bmatrix} 1 & T_1/J_n \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0035】である。従って、修正演算式は次式のようになる。 * 【0036】
* 【数9】

$$\begin{bmatrix} \hat{\omega}[j+1,0] \\ \hat{T}_d[j+1,0] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\omega}[j,m] \\ \hat{T}_d[j,m] \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (\lambda_1 + 2\lambda_2)/T_1 \\ \frac{2J_n}{T_1^2}\lambda_2 \end{bmatrix} \Delta\theta \quad (12)$$

【0037】(12)式の演算は、位置検出器14の読み込み周期 T_1 毎に行う。また、同式右辺第2項の係数ベクトルが、図9の修正ゲイン演算部18が演算する修正ゲインに相当する。修正ゲインについては、 λ をオブザーバの希望する収束特性に合わせて設定することができる。その結果、時間と共に推定誤差が零に収束するので、瞬時速度及び外乱トルクを推定できる。

【0038】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術には、以下のような問題がある。

【0039】すなわち、従来技術は、パルス発生時点と制御時点との時刻のずれは、大きくて T_2 程度なので無視できると考えている。これは、DSPのような高速演算デバイスを用いた場合に成り立つ条件であり、従来技術では、 T_2 は数十 $[\mu s]$ 程度という極めて速い周期を仮定している。しかし、このような高速演算デバイスは一般に高価であるため、装置全体が高額になるという問題がある。さらに、安価な低速演算デバイスを用いると、制御周期 T_2 が長くなり、パルス発生時点と制御時点の時刻のずれは無視できなくなるため、真の検出位置に基づく誤差の修正が難しくなる。

【0040】つまり、図9に示すように、パルス発生時点と制御時点($k=m$)との時刻のずれ Δt が大きくなり、その制御時点において真の位置 θ^* と(13)、(14)式に基づいて計算された近似位置 $\theta[j+1,0]$ との間の差、すなわち量子化誤差が無視できなくなるほど大きくなる。これに伴って、量子化ノイズの増大、パラメータ変動に対するロバスト性の劣化、オブザーバの不安定化といった不具合が生じる。

【0041】本発明は、上記事実に鑑みて成されたもので、制御系の制御周期が長く、パルス発生時点と制御時点の時刻のずれが無視できないような状況においても、※50

※検出位置を正確に補正できる検出位置補正装置及び該装置を用いることにより安定かつ高精度に回転速度を検出できる回転速度検出装置を提供することを目的とする。

【0042】

【課題を解決するための手段】

(検出位置補正装置) 上記目的を達成するために請求項1の発明は、回転体に設置されたパルス生成器が出力したパルスの計数値に基づいて該回転体の回転位置を検出する位置検出手段と、前記パルス生成器により出力されたパルスのパルス間隔を計測するパルス間隔計測手段と、回転位置が検出された現時点と、該現時点後に指定された制御時点との時間差を計測する時間差計測手段と、前記位置検出手段により1又は複数の検出時点で検出された回転位置の時間系列、前記パルス間隔計測手段により1又は複数の計測時点で計測されたパルス間隔の時間系列、及び前記時間差計測手段により計測された時間差に基づいて、現時点で検出された回転位置を、前記制御時点の回転位置に補正する検出位置補正手段と、を含んで構成したものである。

【0043】請求項1の発明では、回転体が回転すると、この回転体に設置されたパルス生成器がパルスを出し、位置検出手段は、出力されたパルスの計数値に基づいて回転体の回転位置を検出する。例えば、このパルス生成器を、回転速度に比例した周波数成分を有する交流信号をパルス波形に変換するパルスジェネレータとして実現することができる。また、位置検出手段を、パルス発生回数を積算することによりパルスの計数値を求め、このパルス計数値を回転位置に変換する手段として実現することができる。なお、パルス生成器は、上記のような回転速度に比例した周波数成分をもつ交流信号を発生するものに限らず、回転角に応じてパルス等の何らかの信号を発生するものでも良い。

【0044】ここで、図3のタイミングチャートに基づいて、本発明の検出位置補正装置の原理を説明する。この説明では、本発明の検出位置補正装置が、従来技術と同様に、パルス発生毎に、パルス発生直後の制御時点で検出位置の補正を行うものとするが、本発明はこれに限定されるものでない。

【0045】いま、時点 $[j+1, 0]$ での真の位置を求めると仮定する。ここで、図3では、簡単のために時点 $[j+1, 0]$ を $[j+1]$ と表している。なお、図3において時点 $[j+1]$ での真の位置とは、パルス発生時点で回転位置が検出されたときの位置 $\theta[j+1]$ ではなく、その直後の制御時点($k=m$)における位置 θ^* である。

【0046】ここで、本発明のパルス間隔計測手段は、例えば、高速カウンタ(図3参照)により実現できる。この高速カウンタは、きわめて短い周期でタイムカウントすることにより時間間隔を測定する計測タイマであり、パルス発生毎に回転速度の修正を行う図3の場合では、パルスの発生毎にそのカウント値をメモリに格納し*

$$\theta_s / T_w, [j+1] = (\theta[j+1] - \theta[j]) / T_w, [j+1] \quad (13)$$

となる。但し、 $T_w, [j+1]$ は、時点 $[j]$ のパルスと時点 $[j+1]$ のパルスとの間の時間間隔とする。(13)式により表される位置の変化量を用いると、直前のパルス時点 $[j+1]$ から Δt 経過した制御時点における*

$$\theta^* = \theta[j+1] + \frac{\theta_s}{T_w[j+1]} \Delta t \quad (14)$$

【0051】このように、位置検出手段からの位置 $\theta[j+1]$ を(14)式のように補正することにより、時点 $[j+1]$ における真の位置を求めることができる。30
【0052】また、(14)式では、過去1パルス前との位置の変化量から真の位置 θ^* を求めたが、過去数パルス★

$$\theta^* = \frac{n\theta_s}{\sum_{i=0}^{n-1} T_w[j+1-i]} \Delta t + \theta[j+1] \quad (15)$$

【0054】ここに、 n は、過去 n パルス前からの変化量、すなわち、 n 個のパルス間の平均位置変化から求めていることを示している。また、(13)、(14)式までは位置の変化量を直線で近似して、検出位置を補正したが、過去 n 個のパルス間隔を用いて時間に対する真の位置の 40
変化を多項式で近似し、制御時点 $k=m$ における真の位☆

*すると共に該カウント値をリセットする。このとき、メモリの値からそのときのパルス間隔が計測できる。この高速カウンタのカウント周期は、通常数 μ 秒以下であるため、精度良くパルス間隔を計測できる。なお、パルス発生毎ではなく、複数のパルスが発生する区間毎に検出位置の補正を行う場合には、パルス間隔計測手段は、各区間の代表的なパルス同士のパルス間隔を計測する。

【0047】同様に、本発明の時間差計測手段も、例えば高速カウンタ(図3参照)により実現できる。すなわち、制御時点 $k=m$ とその直前のパルス発生時点との時間差 Δt を、該制御時点における高速カウンタ値を読み込むことで計測することができる。

【0048】そして、本発明の検出位置補正手段は、検出位置、パルス間隔及び時間差を用いることにより、例えば、以下のようにして、現時点で検出された位置 $\theta[j+1]$ を、指定された制御時点の真の回転位置 θ^* に補正する。

【0049】すなわち、時点位置 $\theta[j]$ から $\theta[j+1]$ までの位置の変化量は、

※真の位置 θ^* は、以下のように求めることができる。

【0050】

【数10】

★前との変化量から求めても良い。この場合は、過去のパルス間隔に基づいて、以下のように位置の補正を行う。

【0053】

【数11】

☆置を求めることもできる。例えば、ラグランジュの補間公式(2次補間公式)を用いると、 j 番目のパルスが発生した時刻を t_j とし、ある時刻 t における位置 $\theta(t)$ を以下のように求めることができる。

【0055】

【数12】

$$\theta(t) = \sum_{i=j+1-n}^{j+1} \theta[i] L_i(t; t_{j+1-n}, t_{j+1-n+1}, \dots, t_{j+1}) \quad (16)$$

ここに、

$$L_i = \prod_{p=j+1-n, p \neq i}^{j+1} \frac{t - t_p}{t_i - t_p} \quad (17)$$

【0056】である。

* * 【0057】制御時点 $k=m$ における時刻 t が、

$$t = \Delta t + t_{j+1} \quad (18)$$

であることを用いて、 $n=2$ 、すなわち過去2パルスのパルス間隔 $T_w[j]$ 、 $T_w[j+1]$ 、及び過去2パルスのパルス発生時の位置を使って、時間に対する真の位置の変化を2次の多項式で近似するように(16)式、(1※

※7)式を適用すると、次式の補正式が得られる。

【0058】

【数13】

$$\theta^* = \theta[j-1]L_{j-1} + \theta[j]L_j + \theta[j+1]L_{j+1} \quad (19)$$

ここに、

$$L_{j-1} = \frac{\Delta t + t_{j+1} - t_j}{t_{j-1} - t_j} \cdot \frac{\Delta t + t_{j+1} - t_{j+1}}{t_{j-1} - t_{j+1}} \quad (20)$$

$$L_j = \frac{\Delta t + t_{j+1} - t_{j-1}}{t_j - t_{j-1}} \cdot \frac{\Delta t + t_{j+1} - t_{j+1}}{t_j - t_{j+1}} \quad (21)$$

$$L_{j+1} = \frac{\Delta t + t_{j+1} - t_{j-1}}{t_{j+1} - t_{j-1}} \cdot \frac{\Delta t + t_{j+1} - t_j}{t_{j+1} - t_j} \quad (22)$$

【0059】である。(20)~(22)式を、さらにまとめる

★【0060】

と以下ようになる。

★【数14】

$$L_{j-1} = \frac{\Delta t + T_w[j+1]}{T_w[j]} \cdot \frac{\Delta t}{T_w[j] + T_w[j+1]} \quad (23)$$

$$L_j = -\frac{\Delta t + T_w[j] + T_w[j+1]}{T_w[j]} \cdot \frac{\Delta t}{T_w[j+1]} \quad (24)$$

$$L_{j+1} = \frac{\Delta t + T_w[j] + T_w[j+1]}{T_w[j] + T_w[j+1]} \cdot \frac{\Delta t + T_w[j+1]}{T_w[j+1]} \quad (25)$$

【0061】全体を整理すると、補正式は次式のように

40 ☆【0062】

表せる。

☆【数15】

$$\theta^* = \theta[j+1] + \theta_j \left(\frac{T_w[j]^2 + 2T_w[j]T_w[j+1] - T_w[j+1]^2}{T_w[j]T_w[j+1](T_w[j] + T_w[j+1])} \Delta t + \frac{T_w[j] - T_w[j+1]}{T_w[j]T_w[j+1](T_w[j] + T_w[j+1])} \Delta t^2 \right) \quad (26)$$

【0063】補正式は、(19)式及び(23)~(25)式を用いても、或いは(26)式を用いても良い。なお、ここではパルス発生毎のパルス間隔を用いて補正を行ったが、1パルス毎ではなく、複数のパルスが発生する毎の時間間隔を用いて(19)式より補正を行っても良い。

◆【0064】以上のように、本発明の検出位置補正装置は、検出位置を、指定された制御時点の位置に補正するので、従来の瞬時速度オブザーバーのように各制御時点毎に、外乱トルク、位置、速度等の物理量の誤差修正を行って該物理量を検出する装置に本発明を適用した場

合、位置の検出時点と制御時点とのずれによって生じる各物理量の推定精度の低下を防止することができる。

(回転速度検出装置) また、請求項2の発明は、請求項1の検出位置補正装置を、回転速度検出装置に適用したもので、回転体に設置されたパルス生成器が出力したパルスの計数値に基づいて該回転体の回転位置を検出する位置検出手段と、回転体を制御するための制御トルクを検出する制御トルク検出手段と、前記制御トルク検出手段により検出された値の制御トルク及び推定された値の外乱トルクが作用する回転体のモデルに基づいて、与えられた回転速度及び回転位置の各初期値とから回転体の回転速度及び回転位置を推定する状態推定手段と、少なくとも前記パルス生成器により出力されたパルスの数に基づいて、誤差修正時点を判断する誤差修正判断手段と、前記パルス生成器により出力されたパルスのパルス間隔を計測するパルス間隔計測手段と、回転位置が検出された現時点と、該現時点後に前記誤差修正判断手段により判断された誤差修正時点との時間差を計測する時間差計測手段と、前記位置検出手段により1又は複数の検出時点で検出された回転位置の時間系列、前記パルス間隔計測手段により1又は複数の計測時点で計測されたパルス間隔の時間系列、及び前記時間差計測手段により計測された時間差に基づいて、現時点で検出された回転位置を、前記誤差修正時点の回転位置に補正する検出位置補正手段と、前記誤差修正時点において、前記位置補正手段により補正された回転位置と前記状態推定手段により推定された回転位置との間に生じた位置の誤差に基づいて、少なくとも前記外乱トルクの推定値及び回転速度の初期値を修正する推定誤差修正手段と、を含んで構成したものである。

【0065】請求項2の発明では、制御トルク検出手段が、回転体を制御するための制御トルクを検出する。この制御トルクは、回転体が車両の車輪の場合はホイールシリンダへのブレーキ圧による車輪への制動トルクであり、電動機の場合はモータを駆動するための駆動トルクに相当する。

【0066】また、状態推定手段が、制御トルク検出手段により検出された値の制御トルク及び推定された値の外乱トルクが作用する回転体のモデルに基づいて、与えられた回転速度及び回転位置の各初期値とから回転体の回転速度及び回転位置を推定する。例えば、制御トルクと外乱トルクとを加算して回転体に作用する全トルクを求め、この全トルクが作用した場合の回転体の回転角加速度を、回転体のモデルに含まれる物理量(慣性モーメント)から求めることができる。そして、回転角加速度と回転速度の初期値とから積分演算によりこの時点の回転体の回転速度を求め、さらに、この回転速度と回転位置の初期値とから積分演算によりこの時点の回転位置を求めることができる。なお、外乱トルクの推定値と回転速度及び回転位置の各初期値は、最初は、所定の測定値

や推定値により得られた値を用いても良いが、後述する推定誤差修正手段により修正された場合、状態推定手段は、修正された外乱トルク、回転速度及び回転位置の各初期値に基づいて回転体の回転速度及び回転位置を推定する。

【0067】このように状態推定手段が回転速度等を推定している間、誤差修正手段が、少なくともパルス生成器が出力したパルスの数に基づいて、誤差修正時点を判断する。なお、この誤差修正時点は、後述する推定誤差修正手段による誤差修正が実行される制御時点であり、例えば、高速カウンタによってカウントされたパルス数が基準値に達した時点の直後における制御系の制御時点となる。また、制御系の制御周期が一定回数以上繰り返される間に前記パルス生成器が出力したパルスの数が基準値以上となった時点が誤差修正の時点と判断することもできる。

【0068】次に、検出位置補正手段が、位置検出手段により1又は複数の検出時点で検出された回転位置の時間系列、パルス間隔計測手段により1又は複数の計測時点で計測されたパルス間隔の時間系列、及び時間差計測手段により計測された時間差に基づいて、現時点で検出された回転位置を、誤差修正時点の回転位置に補正する。

【0069】そして、推定誤差修正手段が、位置補正手段により補正された回転位置と状態推定手段により推定された回転位置との間に生じた位置の誤差に基づいて、少なくとも外乱トルクの推定値及び回転速度の初期値を修正する。なお、この修正において、例えば、従来の瞬時速度オブザーバの(12)式の誤差修正式を用いることもできる。また、外乱トルクの推定値と回転速度の初期値と共に、回転位置の初期値を修正するようにしても良く、この場合には、より正確な誤差修正が可能となる(以下の実施の形態を参照)。なお、位置の誤差を各物理量の誤差に分配する方法は、例えば、推定誤差が時間と共に零に収束するように制御系を設計する際の拘束条件などから得られる。以上のように修正された各値は、状態推定手段で用いられるので、各推定値は真の値に接近していく。

【0070】このように本発明では、位置補正手段により補正された回転位置を用いて、外乱トルクの推定値及び回転速度の初期値を修正するため、位置検出時点と誤差修正時点とのずれによって生じる量子化誤差が軽減され、高精度に回転速度を検出できる。特に、演算デバイスの能力によって制御系の制御周期が十分に短くできず、よって、回転位置の量子化誤差が増大する場合においても、正確に回転速度を推定することができると共に、量子化ノイズの増大、パラメータ変動に対するロバスト性の劣化、及びオブザーバの不安定化などを防止することができる。

【0071】

【発明の実施の形態】以下、本発明の検出位置補正装置を、回転速度検出装置及びタイヤ発生力検出装置に適用した各々の実施の形態について、図面に基づいて詳細に説明する。

(第1の実施の形態) 図1には、第1の実施の形態に係る検出位置補正装置を、回転速度検出装置(瞬时速度オブザーバー)に適用した場合の構成ブロック図が示されている。同図に示すように、本回転速度検出装置は、計測対象である回転体を制御するための制御トルクを検出する制御トルク検出手段30と、回転体の力学的モデルに基づいて、検出された制御トルク及び推定された外乱トルクにより回転体の瞬时位置及び瞬时速度を推定する状態推定手段32と、回転体の所定の回転角の回転毎にパルス生成するパルスジェネレータ37のパルス計数値に基づいて回転体の位置を検出する位置検出手段38と、を含んで構成されている。なお、制御トルク検出手段30及び状態推定手段32は、従来の瞬时速度オブザーバ10の等価モデル16(図9)により実現できるが、この例に限定されるものではない。

【0072】さらに、本回転速度検出装置は、パルスジェネレータ37からのパルス数と制御周期 T_2 毎にカウントされるカウント数とに基づいて誤差修正演算のタイミングを判断する誤差修正判断手段34と、誤差修正演算のタイミングと判断されたときに位置検出手段38により検出された位置 θ を(真の)位置 θ^* に補正する検出位置補正装置50と、状態推定手段32により推定された位置と検出位置補正手段50により補正された位置 θ^* との差分に基づいて、速度、外乱トルク及び位置の推定値の修正を行う推定誤差修正手段36と、から構成される。

【0073】検出位置補正手段50は、位置検出手段38が検出した位置 θ の時間系列を記憶する検出位置記憶手段52と、パルスジェネレータ37が生成したパルスのパルス間隔 T_p を計測するパルス間隔計測手段54と、パルス間隔計測手段54により計測されたパルス間隔の時間系列を記憶するパルス間隔記憶手段56と、制御時点と該時点の直前に発生したパルスの時点との時間差 Δt を計測する時間差計測手段58と、誤差修正時点で、位置 θ の時間系列、パルス間隔の時間系列及び時間差 Δt に基づいて現時点の検出位置 θ を制御時点の位置 θ^* に補正する検出位置補正手段60と、から構成される。

【0074】ここで、本実施の形態の位置読み込みのタイミングを示すタイミングチャートを図4に示す。同図に示すように、本実施の形態の位置読み取り周期 T_1 は、図3に示したようにパルス発生毎の周期ではなく、パルスが2回検出される毎に誤差修正を行う周期を例にしている。

【0075】図4において、 $\theta[j-1]$ 、 $\theta[j]$ 、 $\theta[j+1]$ 、... は、位置読み取り区間 $j-1$ 、

j 、 $j+1$ 、... 毎に(各区間の最後のパルス発生時に)検出された回転位置を示す。また、 $T_p[j-1]$ 、 $T_p[j]$ 、 $T_p[j+1]$ 、... は、位置読み取り区間 $j-1$ 、 j 、 $j+1$ 、... のパルス間隔(各区間の最後に発生したパルス同士の時間間隔)を示す。そして、 $\theta[1-3]$ 、 $\theta[1-2]$ 、 $\theta[1-1]$ 、 $\theta[1]$ 、... は、パルス $1-3$ 、 $1-2$ 、 $1-1$ 、 1 、... 毎に検出された回転位置を示し、 $T_p[1-1]$ 、 $T_p[1]$ 、... は、パルス $1-2$ 、 $1-1$ 、 1 の隣接パルス間隔を示す。

【0076】図4のタイミングの場合、位置検出手段38は、位置読み取り区間毎の位置 $\theta[j-1]$ 、 $\theta[j]$ 、 $\theta[j+1]$ 、... 及びパルス毎の $\theta[1-3]$ 、 $\theta[1-2]$ 、 $\theta[1-1]$ 、 $\theta[1]$ 、... のいずれかを検出して検出位置記憶手段52に出力する。また、パルス間隔計測手段54は、位置読み取り区間毎のパルス間隔 $T_p[j-1]$ 、 $T_p[j]$ 、 $T_p[j+1]$ 、... 及びパルス毎のパルス間隔 $T_p[1-1]$ 、 $T_p[1]$ 、... のいずれかを計測してパルス間隔記憶手段56に出力する。

【0077】次に、図1の回転速度検出装置の作用を図5のフローチャートにより、図4のタイムチャートを参照しながら説明する。なお、図5のフローチャートにおいて、繰返しループは、制御周期 T_2 のタイミングで繰返されるものであり、定数 M 、 N は、予め定められた零以上の定数である。また、 j は誤差修正タイミングのインデックス、 k は制御周期 T_2 の制御タイミングのインデックスであり、本実施の形態でも、上述のように時刻 t を $[j, k]$ で表すこととする。

【0078】図5のフローチャートには、過去1パルス前の位置の変化量により真の位置 θ^* を求める回転位置検出の流れが示されており、まず、ステップ99において各変数(k 、 n 等)の初期化を行う。次に、制御周期 T_2 毎に繰返される繰返しループに移行し、このループの始めにステップ100において k を1つカウントアップする。

【0079】次のステップ101では、時点 $[j, k]$ における回転体の制御トルク $T_c[j, k]$ を検出する。制御トルクは、回転体を制御するために加えられるトルクであり、回転体が電動機の電動子の場合は、時点 $[j, k]$ の電動子電流をセンサ等で検出し検出値に制御トルクへの変換係数を乗ずることによって得られる。また、回転体が車両の車輪の場合は、ホイールシリンダ圧を検出し、検出値にブレーキトルクへの変換係数を乗ずることによって得られる。そして、次のステップ102では、誤差修正判断手段34が、時点 $[j, k-1]$ と $[j, k]$ との間でパルスジェネレータ37から発生したパルス数 n_p を読み込む。

【0080】ところで、既に述べたように、回転体の角加速度は、制御トルクと回転体に加わる外乱 T_d との総

17

和トルクを回転体の慣性モーメントで割ることによって求まり、回転体の角速度は、この角速度を時間積分することによって求まり、回転体の回転位置は、さらに角速度を時間積分することによって求まる。

【0081】そこで、状態推定手段32が、ステップ104において、ステップ101で得られた制御トルクと外乱トルクの推定値とから回転体に加わる総トルクを(4)式により演算する。なお、外乱トルクの推定値は、後述するように、誤差修正演算により修正されて真の外乱トルクに接近するが、誤差修正演算を初めて実行する前の外乱トルクの初期値は、他の方法により検出された値を用いても良い。

【0082】次のステップ105では、状態推定手段32が、上記の(5)、(6)式により台形積分を用いて回転体の速度の推定値及び回転位置の推定値を演算する。

【0083】次のステップ106では、誤差修正判断手段34が、時点[j, 0]から時点[j, k]までの間にパルスジェネレータ37が出力したパルス数の総和nを演算する。この演算では、ステップ102で読み込まれたパルス数npを、パルス数nに累積的に加算する(n←n+np)。そして、ステップ107及びステップ108において誤差修正判断を行う。

【0084】すなわち、ステップ107では、インデックスkが規定値M以上となったか否かを判定し、否定判定であれば、再びステップ100から同様の演算を繰り返す。演算の繰り返しによりkが増加し、やがてステップ107で肯定判定となったとき、ステップ108において、ステップ106で加算されるパルス数の総和nが規定値N以上であるか否かを判定する。ステップ108が否定判定であれば、再びステップ100から同様の演算を繰り返す。このループを繰り返し演算中にパルス数が増加し、やがてステップ108で肯定判定となったとき、検出位置補正手段60による位置補正演算を行う。

【0085】すなわち、最初1にセットされたインデッ

$$\theta[j+1, 0] = \theta[j, 0] + n\theta_s \quad (27)$$

に従って演算する。ここに、 θ_s は位置検出器から発生する1パルス当たりの回転角である。但し、(27)式により得られた位置 $\theta[j+1]$ が θ_1 以上となった場合、(27)式の演算値から回転体の1回転分の回転角 θ_1 （ラジアン単位で表現すれば、 $\theta_1 = 2\pi [\text{rad}]$ ）が

【0090】

【数16】

$$-\theta_1 > \theta[j+1, 0], \theta[j, k] > \theta_1$$

※

$$\theta^* = \theta[j+1] + \frac{\theta_s}{T_p[q]} \Delta t$$

18

* クスkがM以上となるまでの間にカウントされたパルス数の総和nがN以上となったときに、誤差修正のタイミングとみなして以下の位置補正演算を実行する。なお、上記の規定値M、Nの値は、制御周期 T_2 の長さやパルスジェネレータ37の分解能などに応じて任意好適に定められる。

【0086】位置補正演算では、以下のような演算を行う。すなわち、ステップ110において、検出位置補正手段60が、パルス間隔記憶手段56に記憶されている1パルス前のパルス間隔を読み込む。なお、このパルス間隔を以下では $T_p[1]$ として説明する。このパルス間隔 $T_p[1]$ は、図4に示すように、誤差修正時点の直前に発生したパルス1と、該パルス1の直前に発生したパルス(1-1)との時間間隔を表している。

【0087】なお、パルス間隔計測手段54は、上記ステップ100～ステップ108の処理が実行されている間に、パルス間隔を計測しており、この計測値をパルス間隔記憶手段56に順次出力している。パルス間隔記憶手段56では、記憶している値を入力された値に順次更新するので、パルス間隔記憶手段56には、1パルス前のパルス間隔 $T_p[1]$ が常に格納されていることになる。

【0088】そして、ステップ120では、時間差計測手段58が、誤差修正タイミングの制御時点と、該制御時点の直前にパルスジェネレータ37が生成したパルスの出力時点（位置 $\theta[1]$ 、 $\theta[j+1]$ の検出時点）との間の時間差 Δt を計測し、検出位置補正手段60が、時間差計測手段58により計測された時間差 Δt を読み込む。

【0089】次に、ステップ122では、検出位置補正手段60が検出位置記憶手段52に記憶されている検出位置 $\theta[j+1]$ を読み込む。なお、位置 $\theta[j+1]$ は、位置検出手段38が、

※【0091】の範囲に入るため、 $\theta[j+1]$ のオーバーフローを防ぐことができる。次に、ステップ123では、上記ステップで得られた $T_p[1]$ 及び Δt に基づいて検出位置 $\theta[j+1, 0]$ を次式のように補正する。

【0092】

【数17】

$$(28)$$

【0093】なお、ステップ123で、誤差修正時点毎のパルス間隔 T_p を用いて補正するようにしても良い。★50

★この場合、ステップ110において、検出位置補正手段60が直前のパルス間隔 $T_p[j+1]$ を読み出し、検

出位置 $\theta[j+1]$ ($=\theta[1]$)を
【0094】

*【数18】

*

$$\theta^* = \theta[j+1] + \frac{n\theta_s}{T_w[j+1]} \Delta t \quad (29)$$

【0095】のように補正する。以降のステップでは、
検出位置補正手段60が誤差修正演算を実施するが、誤
差修正周期 T_1 は制御周期 T_2 の k 倍となっているの ※

$$T_1 = k T_2$$

※で、まず、ステップ126において、次式により誤差修
正周期 T_1 を求める。

【0096】

(30)

次に、ステップ128で、
【0097】

★【数19】

★

$$\Delta\theta = \hat{\theta}[j, k] - \theta^* \quad (31)$$

【0098】より、補正した検出位置と推定位置との差
を計算する。そして、ステップ130では、(31)式で求
められた差 $\Delta\theta$ に基づいて、次の時点 $[j+1, 0]$ か
ら状態推定手段32で用いられる位置、速度、外乱の各☆

☆推定値の初期値を、次のように修正する。

【0099】

【数20】

$$\begin{bmatrix} \hat{\theta}[j+1, 0] \\ \hat{\omega}[j+1, 0] \\ \hat{T}_d[j+1, 0] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\theta}[j, k] \\ \hat{\omega}[j, k] \\ \hat{T}_d[j, k] \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 \\ (\lambda_1 + 2\lambda_2)/T_1 \\ \frac{2J_n}{T_1^2} \lambda_2 \end{bmatrix} \Delta\theta \quad (32)$$

【0100】ここに、 λ は誤差の分配を行うための重み
係数ベクトルで、所定のオブザーバの推定特性を有する
ように設計される。

【0101】そして、ステップ132では、誤差修正タ
イミングのインデックス j を1つカウントアップすると
同時に、ステップ134、ステップ136において、 k
及び n を零にリセットし、ステップ100に戻り再び繰
り返しループの演算を実行する。

(第2の実施の形態) 次に、第2の実施の形態に係る回
転速度検出装置を説明する。なお、第2の実施の形態の
構成は、第1の実施の形態と同様であるので、同一の符
号を付して詳細な説明を省略する。但し、パルス間隔記
憶手段56は、過去 M_p パルスまでのパルス間隔を記憶
する機能を有するとする。

【0102】第2の実施の形態は、過去数パルスの時間
間隔から検出位置の位置平均変化量を求め、該位置平均◆

$$\theta^* = \frac{M_p \theta_s}{\sum_{i=0}^{M_p-1} T_p[\ell-i]} \Delta t + \theta[j+1] \quad (33)$$

【0105】なお、ステップ124の補正は、誤差修正
時点毎のパルス間隔 T_w に基づいて行っても良い。この
場合は、パルス間隔計測手段54が誤差修正時点毎のパ
ルス間隔 T_w を計測し、パルス間隔記憶手段56が、 M_p
回過去のパルス間隔 T_w を記憶するように構成する。
そして、ステップ112において、検出位置補正手段6*

◆変化量より検出位置を補正するものであり、その作用
は、図6のフローチャートに示されている。なお、図6
では、図5と同様の作用部分については同一のステップ
番号を付して詳細な説明を省略し、異なる作用部分につ
いてのみ説明する。

【0103】図6のフローチャートに示すように、誤差
修正タイミングと判断されたとき(ステップ108肯定
判定)、ステップ112において、検出位置補正手段6
0が、パルス間隔記憶手段56に記憶されている過去 M_p
パルスまでのパルス間隔を読み込む。そして、ステッ
プ120で Δt の読み込み、ステップ122で検出位置
 $\theta[j+1]$ の読み込みを行った後、ステップ124に
おいて、次のように検出位置 θ の補正を行う。

【0104】

【数21】

*0が、パルス間隔記憶手段56から M_p 回過去のパルス
間隔 T_w を読み出し、ステップ124において、次のよ
うに検出位置 θ の補正を行う。

【0106】

【数22】

$$\theta^* = \frac{n_a \theta_s}{\sum_{i=0}^{M_p-1} T_w[j+1-i]} \Delta t + \theta[j+1] \quad (34)$$

【0107】ここに、 n_a は時点 $[j - M_p]$ から $[j + 1]$ までに発生したパルス数である。

(第3の実施の形態) 次に、第3の実施の形態に係る回転速度検出装置を説明する。なお、第3の実施の形態の構成は、第1の実施の形態と同様であるので、同一の符号を付して詳細な説明を省略する。但し、パルス間隔記憶手段56は、過去M₁パルスまでのパルス間隔を記憶し、検出位置記憶手段52は、過去M₁パルスまでの検出位置を記憶するものとする。

【0108】第3の実施の形態は、過去数パルスの時間間隔を用いて、時間に対する真の変化を多項式で近似し、検出位置を補正するものであり、その作用は、図7のフローチャートに示されている。なお、図7では、図5及び図6と同様の作用部分については同一のステップ番号を付して詳細な説明を省略し、異なる作用部分についてのみ説明する。

【0109】図7のフローチャートに示すように、誤差*20

* 修正タイミングと判断されたとき（ステップ108肯定判定）、ステップ112において、検出位置補正手段60が、パルス間隔記憶手段56に記憶されている現パルスを含む過去M_p、パルスまでのパルス発生間隔を読み込む。また、ステップ114において、検出位置補正手段60が、検出位置記憶手段52に記憶されている現パルスから過去M_p、パルスまでのパルス毎の検出位置を読み込む。次に、ステップ120において、時間差計測手段58から出力された時間差Δtの読み込みを行った後、ステップ125において、ステップ112～120で得られた情報に基づいて検出位置θの補正を行う。

【0110】検出位置 θ の補正では、1番目のパルスが発生した時刻を t_1 とし、ある時刻 t における位置 $\theta(t)$ は、ラグランジュの補間公式を用いると以下のよう求めることができる。

【0111】

【数23】

$$\theta(t) = \sum_{i=t-M_p}^t \theta(i) L_i(t; t_{t-M_p}, t_{t-M_p+1}, \dots, t_t) \quad (35)$$

【0112】ここに、

【0113】

※【数24】

$$L_i = \prod_{p=l-M, p \neq i}^l \frac{t-t_p}{t_i-t_p} \quad (36)$$

【0114】である。具体例として、 $M_p = 2$ の場合について説明する。誤差修正時点 $[j+1]$ における時刻★

★が、

$$t = \Delta t + t_1 \quad (37)$$

であることを用いる。パルス間隔記憶手段56から読み出した過去2パルスのパルス間隔 T_p 、 $[1-1]$ 、 T_p

☆-2) に基づいて、時間に対する真の位置の変化を2次の多項式で近似するよう(35)、(36)式を適用すると、次式の補正式が得られる。

【0115】

$$\theta^* = \theta (1-2) L_{1-2} + \theta (1-1) L_{1-1} + \theta (1) L_1 \quad (38)$$

$\theta(1)$ はパルス 1 のときの検出位置を表しているの ◆ ◆ で、

$$\theta[1] = \theta[j+1] \quad (39)$$

である。また、

【0116】

* 【数25】

$$L_{t-2} = \frac{\Delta t + T_p[\ell]}{T_p[\ell-1]} \cdot \frac{\Delta t}{T_p[\ell-1] + T_p^*[\ell]} \quad (40)$$

$$L_{\ell-1} = -\frac{\Delta t + T_p[\ell-1] + T_p[\ell]}{T_p[\ell-1]} \cdot \frac{\Delta t}{T_p[\ell]} \quad (41)$$

$$L_t = \frac{\Delta t + T_p[\ell - 1] + T_p[\ell]}{T_p[\ell - 1] + T_p[\ell]} \cdot \frac{\Delta t + T_p[\ell]}{T_p[\ell]} \quad (42)$$

【0117】である。1パルス当たりの回転角が θ_s で※50※あることを用いると、上記補正式は次式のように整理さ

れる。

*【数26】

【0118】

$$\theta^* = \theta[j+1] + \theta_a \left(\frac{T_p[\ell-1]^2 + 2T_p[\ell-1]T_p[q] - T_p[q]^2}{T_p[\ell-1]T_p[q](T_p[\ell-1] + T_p[q])} \Delta t + \frac{T_p[\ell-1] - T_p[q]}{T_p[\ell-1]T_p[q](T_p[\ell-1] + T_p[q])} \Delta t^2 \right) \quad (43)$$

【0119】補正式は、(38)式及び(40)式～(42)式を用いても、或いは(43)式を用いても良い。また、ここでは $M_p = 2$ について説明したが、 $M_p = 2$ 以外の数値でも補正が可能であることは勿論である。

【0120】なお、上記例では、パルス発生毎の時間間隔及び位置を用いて補正を行ったが、誤差修正時点毎のパルス発生間隔及び位置を用いて補正を行っても良い。この場合は、過去 M_p 回（例として $M_p = 2$ とする）までの誤差修正時点の直前に発生したパルスの間のパルス間隔 $T_w[j]$ 、 $T_w[j+1]$ をパルス間隔記憶手段※

※56から読み出し、さらに、誤差修正時点の直前のパルス発生時における誤差修正時点毎の検出位置 $\theta[j+1]$ 、 $\theta[j]$ 、 $\theta[j-1]$ も検出位置記憶手段52から読み出し、これらの情報を使って、時間に対する真の位置の変化を2次の多項式で近似するように(35)式、(36)式を適用する。これにより、次式の補正式が得られる。

【0121】

【数27】

$$\theta^* = \theta[j-1]L_{j-1} + \theta[j]L_j + \theta[j+1]L_{j+1} \quad (44)$$

【0122】ここに、

★【数28】

【0123】

$$L_{j-1} = \frac{\Delta t + T_w[j+1]}{T_w[j]} \cdot \frac{\Delta t}{T_w[j] + T_w[j+1]} \quad (45)$$

$$L_j = \frac{\Delta t + T_w[j] + T_w[j+1]}{T_w[j]} \cdot \frac{\Delta t}{T_w[j+1]} \quad (46)$$

$$L_{j+1} = \frac{\Delta t + T_w[j] + T_w[j+1]}{T_w[j] + T_w[j+1]} \cdot \frac{\Delta t + T_w[j+1]}{T_w[j+1]} \quad (47)$$

【0124】である。

（第4の実施の形態）本発明の検出位置補正装置が適用された第4の実施の形態に係るタイヤ発生力検出装置の構成ブロックを図2に示す。同図に示すように、本タイヤ発生力検出装置は、図1の回転速度検出装置と同様の構成要件（同一符号）と共に、さらに、推定誤差修正手段36により修正された外乱トルクの推定値を、タイヤと路面との間に発生するタイヤ発生力（制動力）として検出するタイヤ発生力推定手段40と、を備えている。

【0125】図2のタイヤ発生力検出装置では、上記各実施の形態の回転速度検出装置と同様に、図5乃至図7のいずれかのフローチャートに従って、位置、速度、外乱トルクの修正を行う。そして、タイヤ発生力推定手段40

☆40は、状態推定手段32により推定された外乱トルク $T_d[j, k]$ に基づいて以下のように制動力を推定する。なお、この制動力推定は、図5乃至図7のフローチャートのステップ104で外乱トルクを加算する処理より前に実行される。

【0126】車輪の制動時の運動方程式は、

【0127】

【数29】

$$J\dot{\omega} = -KP + \mu WR$$

【0128】で表せる。ここに、 W は輪荷重、 P はホイールシリンダ圧、 K はホイールシリンダ圧から制動トルク T_b への変換係数である。今、ステップ101の制御トルク（制動トルク）検出において、

(48)

と制動トルクが検出されるので、

【0129】

【数30】

$$J\dot{\omega} = T_q + \mu WR$$

【0130】という関係が成り立ち、外乱トルクの推定値が制動力 μW にタイヤの動荷重半径 R を乗じたものに対応していることがわかる。そこで、ステップ104において、外乱トルクの推定値からタイヤ動荷重半径 R を割れば制動力 μW を推定することができる。

◆【0131】さらに、輪荷重 W をセンサや演算等により検出すれば、タイヤと路面間の摩擦係数 μ も推定することができる。推定した制動力、摩擦係数等は、アンチスキッド装置や車両安定化制御装置などに用いることができる。

【0132】このように本実施の形態では、位置補正手段により補正された回転位置を用いて、外乱トルクの推定値及び回転速度の初期値を修正するため、位置検出時点と誤差修正時点とのずれによって生じる量子化誤差が

◆50

軽減され、高精度にタイヤ発生力を検出できる。特に、演算デバイスの能力によって制御系の制御周期が十分に短くできず、よって、回転位置の量子化誤差が増大する場合においても、正確にタイヤ発生力を推定することができると共に、量子化ノイズの増大、パラメータ変動に対するロバスト性の劣化、及びオブザーバの不安定化などを防止することができる。

【0133】以上が、本発明の各実施の形態であるが、上記例にのみ限定されるものではない。例えば、本発明の検出位置補正装置を、回転速度検出装置やタイヤ発生力検出装置に適用したが、検出された位置に基づいて、各制御時点で処理を行う他の装置にも適用可能である。

【0134】また、検出位置補正手段による位置の補正において、上記例以外の他の補間方法を用いることも可能である。

【0135】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例に係る検出位置補正装置の動作実験結果を説明する。

【0136】本動作実験では、制動時の車両の車輪速度を検出する回転速度検出装置に本発明を適用し、50 km/hで定速走行している状態から、ステップ状に制動トルクを印加し、そのときの車両の前輪の瞬時速度を検出している。なお、本実施例では、図5乃至図7のいずれかのフローチャートに基づいて回転速度を検出するが、動作実験では、フローチャートにおいて $M=1$ 、 $N=1$ とし、制御周期 T_2 を5 msecとしている。

【0137】以下、この動作実験の結果について図8(a)、(b)を用いて説明する。図8(a)には、本実施例との比較のため、検出位置補正装置により位置補正を行わなかった場合の車輪速度の推定結果が示されている(横軸が時間軸)。同図において、真の速度値が破線で、推定値が実線で示されている。

【0138】図8(a)に示すように、位置補正無しの場合の推定値は、振動成分を多く含み、推定誤差が大きいことがわかる。これは、誤差修正時点とパルス発生時点との間の時間差が無視できないほど大きく、検出位置の量子化ノイズが増大しているためと思われる。

【0139】これに対し、図8(b)には、本実施例の検出位置補正装置を実施した場合の車輪速度推定結果が示されている。同図においても、真の速度値が破線で、推定値が実線で示されている。

【0140】図8(b)に示すように、真値と推定値とが各時間領域でほとんど一致しており、補正無しと比べてはるかに良好に車輪速度を推定できることがわかった。これは、誤差修正時点とパルス発生時点の時間差を計測して検出位置を補正することにより、検出位置の量子化ノイズによる推定誤差を抑制できたためと思われる。

【0141】以上の実験結果より、本発明の有効性が明らかになった。

【0142】

【発明の効果】以上説明したように請求項1の発明によれば、回転位置の時間系列、パルス間隔の時間系列、及び回転位置が検出された現時点と制御時点との時間差に基づいて、現時点で検出された回転位置を、制御時点の回転位置に補正するようにしたので、検出された現時点の回転位置の量子化誤差をきわめて良好に低減することができる。特に、制御系の制御周期が長く、パルス発生時点と制御時点の時刻のずれが無視できないような状況においても、検出位置を正確に補正できるので、検出位置に基づいて外乱トルク、回転位置、回転速度等の瞬時値を推定する装置に本発明を適用した場合に、補正無しと比べてはるかに良好に各瞬時値を推定することができるという優れた効果がある。

【0143】また、請求項2の発明によれば、回転位置の時間系列、パルス間隔の時間系列、及び回転位置が検出された現時点と制御時点との時間差に基づいて補正された回転位置を用いて、外乱トルクの推定値及び回転速度の初期値を修正するため、位置検出時点と誤差修正時点とのずれによって生じる量子化誤差がきわめて良好に軽減され、高精度に回転速度を検出できる、という効果が得られる。特に、演算デバイスの能力によって制御系の制御周期が十分に短くできず、よって、回転位置の量子化誤差が増大する場合においても、補正無しと比べてはるかに良好に回転速度を推定することができると共に、量子化ノイズの増大、パラメータ変動に対するロバスト性の劣化、及びオブザーバの不安定化などを防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る検出位置補正装置が適用された回転速度検出装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態に係る検出位置補正装置が適用されたタイヤ発生力検出装置の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の位置読み込みのタイミングを示すタイミングチャートである。

【図4】本発明の実施の形態の位置読み込みのタイミングを示すタイミングチャートである。

【図5】本発明の第1の実施の形態に係る回転速度検出装置の処理の流れを示すフローチャートである。

【図6】本発明の第2の実施の形態に係る回転速度検出装置の処理の流れを示すフローチャートである。

【図7】本発明の第3の実施の形態に係る回転速度検出装置の処理の流れを示すフローチャートである。

【図8】本発明の実施例に係る検出位置補正装置が適用された回転速度検出装置の回転速度の推定結果を示す図であって、(a)は位置補正無しの場合の推定結果、(b)は位置補正した場合の推定結果を示す。

【図9】従来の瞬時速度オブザーバの構成を示すブロッ

ク図である。

【図10】従来の瞬時速度オブザーバの位置読み込みタイミングを示す図である。

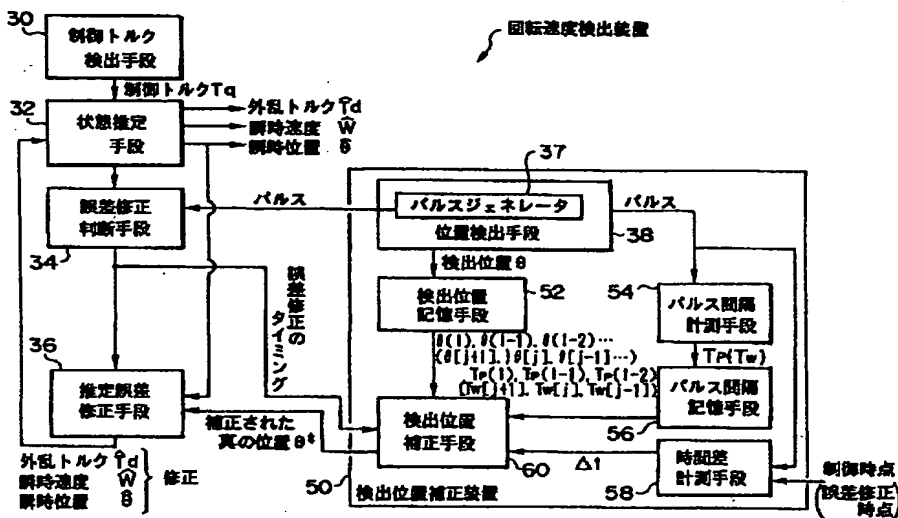
【図11】従来の瞬時速度オブザーバの位置読み込みタイミングと誤差修正タイミングのずれを説明するための図である。

【符号の説明】

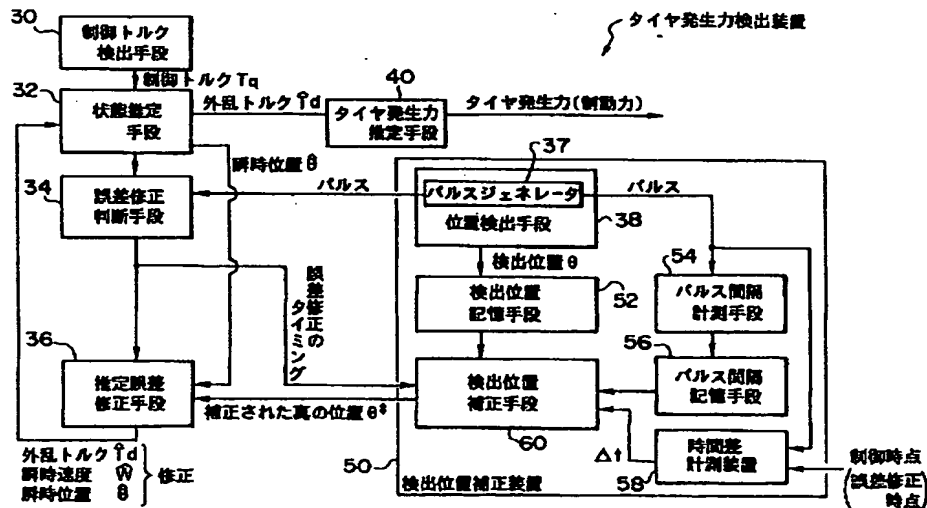
30 制御トルク検出手段
32 状態推定手段
34 誤差修正判断手段
36 誤差修正判断手段

36 推定誤差修正手段
37 パルスジェネレータ
38 位置検出手段
40 タイヤ発生力推定手段
50 検出位置補正装置
52 検出位置記憶手段
54 パルス間隔計測手段
56 パルス間隔記憶手段
58 時間差計測手段
60 検出位置補正手段

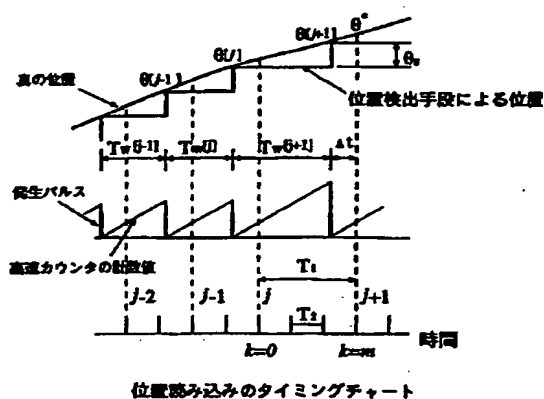
【図1】



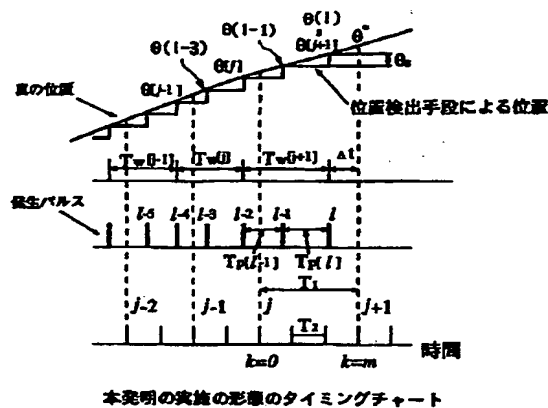
【図2】



【図3】

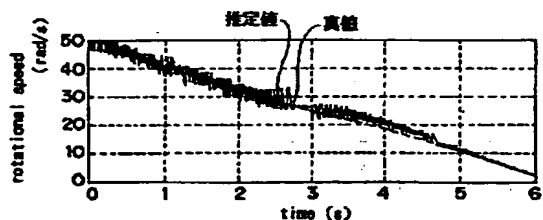


【図4】

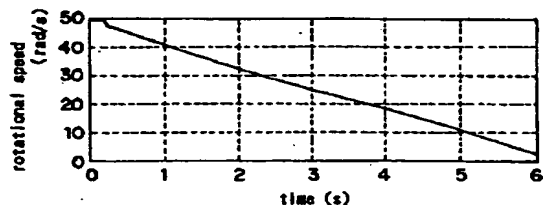


【図8】

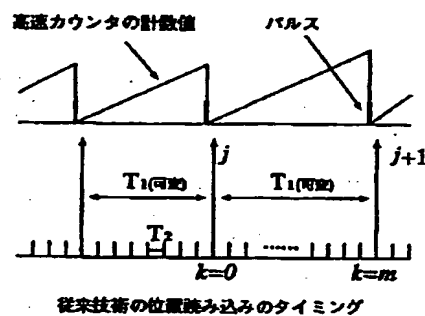
(a) 位置補正なしの推定結果



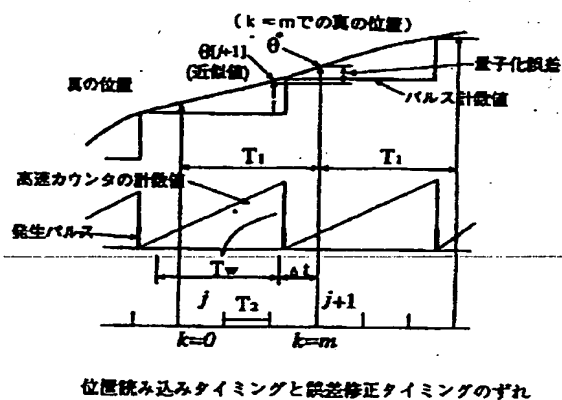
(b) 本発明の推定結果



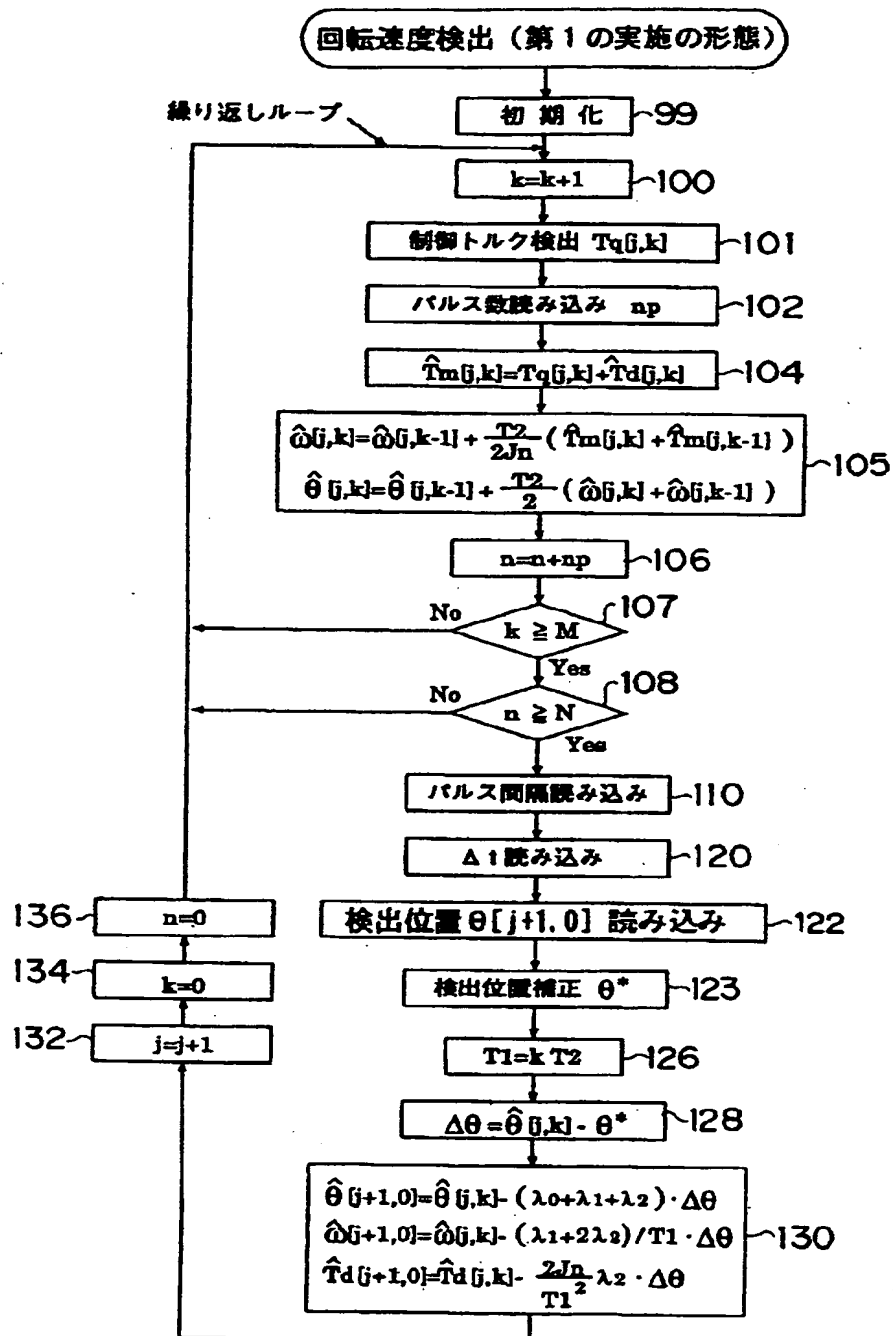
【図10】



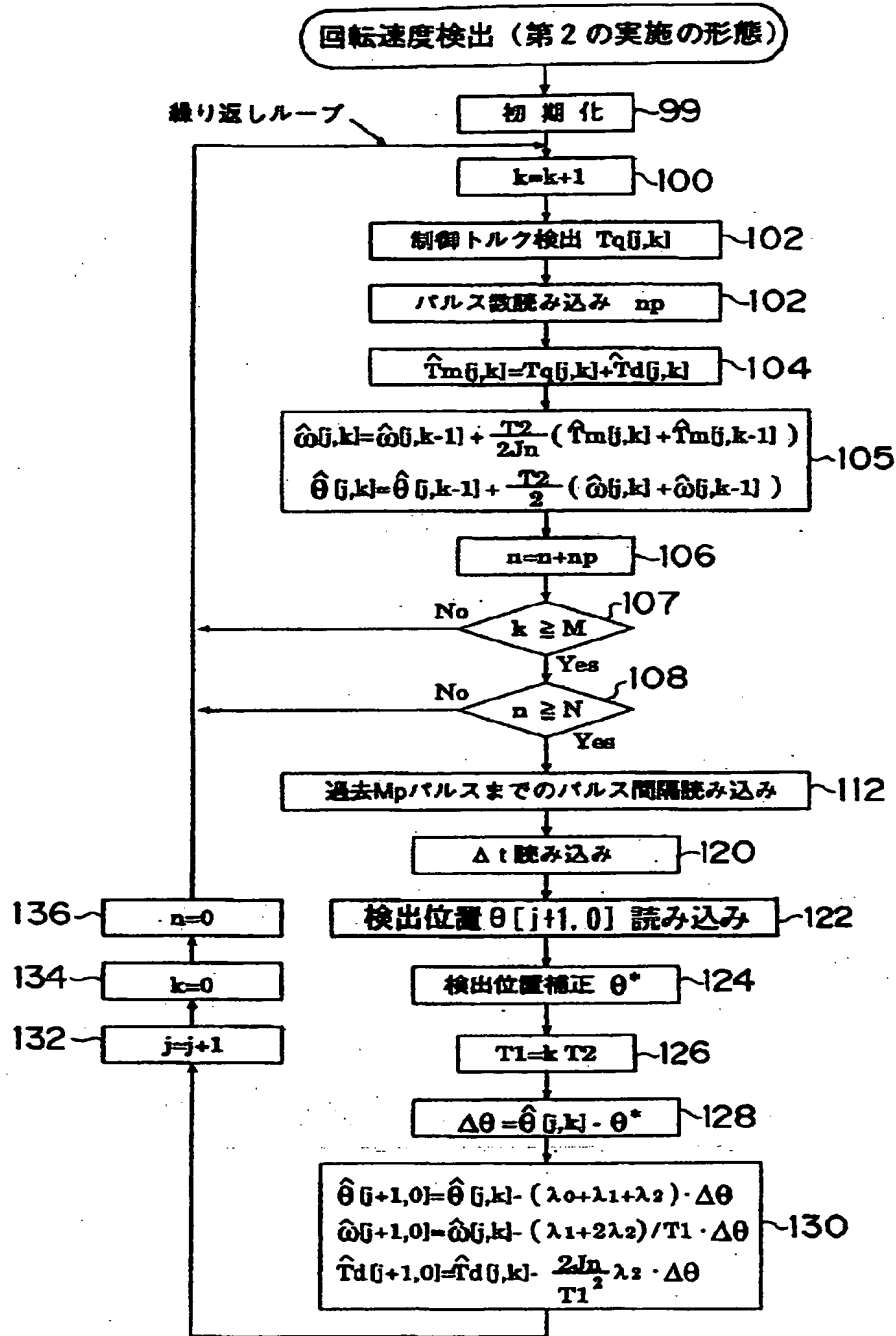
【図11】



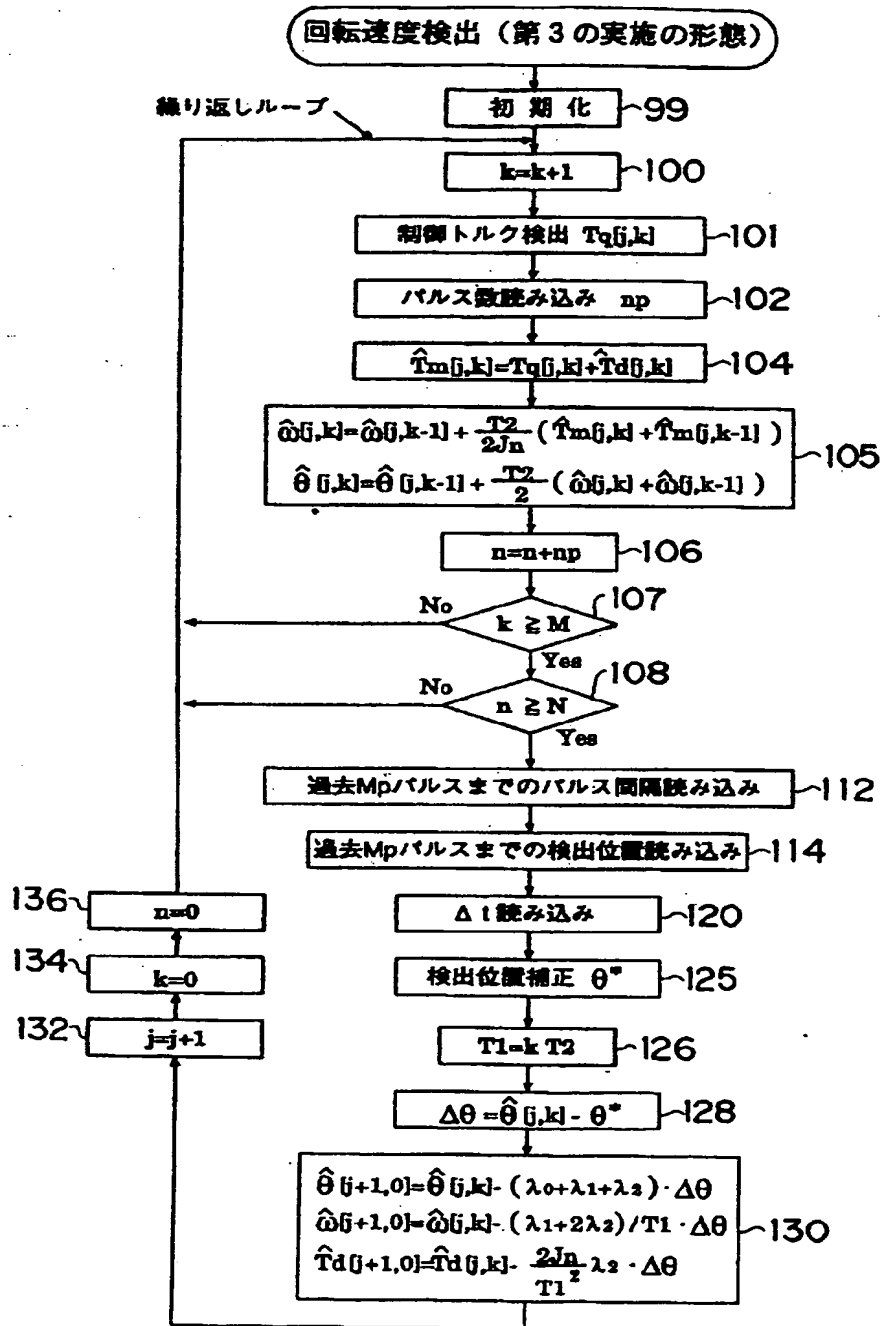
【図5】



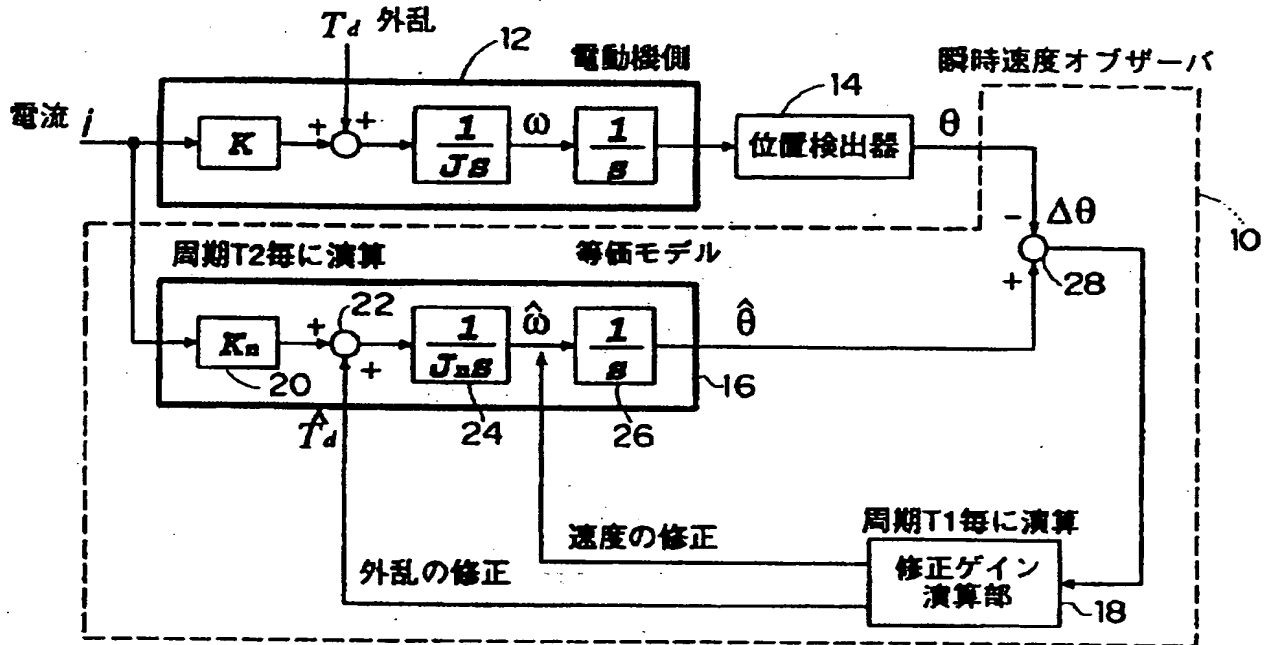
【図6】



【図7】



【図9】



瞬間速度オブザーバの従来技術のブロック図